

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-309823

(43)Date of publication of application : 07.11.2000

(51)Int.Cl.

C21D 8/12

B21B 3/02

C22C 38/00

C22C 38/04

C22C 38/06

(21)Application number : 11-116391

(71)Applicant : NIPPON STEEL CORP

(22)Date of filing : 23.04.1999

(72)Inventor : KAWAMATA RYUTARO  
KUBOTA TAKESHI

(54) PRODUCTION OF HOT ROLLED SILICON STEEL SHEET UNIFORM IN MAGNETIC PROPERTY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a steel sheet excellent in magnetic properties in the longitudinal direction of a coil by subjecting a slab contg. Si or/and Mn in specified compositional ranges, and the balance Fe to rough rolling to form into a sheet bar and executing finish hot rolling in which the finishing temp. is controlled to a specified range, the finishing sheet thickness is controlled to the value equal to or below a specified one, the maximum value of a parameter in the final pass is controlled to the specified one below a specified value, and the varying range is controlled to the value equal to or below a specified one.

$$Z = \log \left( \epsilon \exp \left[ \frac{32100}{(273 + t)} \right] \right)$$

SOLUTION: The contents of Si and Mn are controlled to, by weight,  $0.1 \leq \text{Si} \leq 4.0$ , and  $0.1 \leq \text{Mn} \leq 2.0$ , the finishing temp. is controlled to 750 to 1150°C, and the finishing sheet thickness is controlled to  $\leq 1.5$  mm. The maximum value of the parameter Z defined by the formula {&epsi;: strain rate (1/s) and t: rolling temp. (°C)} in the final pass is controlled to  $< 16.0$ , and the varying range is controlled to  $\leq 2.0$ . For obtaining low core loss in particular, preferably 0.1 to 1.5 wt.% sol-Al is added. A sheet bar obtd. by subjecting the slab to rough rolling is coiled, is held for a certain

time and is thereafter received, the preceding and succeeding sheet bars are joined, and the plural sheet bars are integrated, which is continuously subjected to finish hot rolling.

---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2000-309823  
(P2000-309823A)

(43)公開日 平成12年11月7日(2000.11.7)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード*(参考)
C 2 1 D 8/12		C 2 1 D 8/12	A 4 K 0 3 3
B 2 1 B 3/02		B 2 1 B 3/02	
C 2 2 C 38/00	3 0 3	C 2 2 C 38/00	3 0 3 U
38/04		38/04	
38/06		38/06	
審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 6 頁)			

(21)出願番号 特願平11-116391

(22)出願日 平成11年4月23日(1999.4.23)

(71)出願人 000006655

新日本製鐵株式会社  
東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72)発明者 川又 竜太郎

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内

(72)発明者 久保田 猛

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内

(74)代理人 100062421

弁理士 田村 弘明 (外1名)

Fターム(参考) 4K033 AA01 CA09 FA03 FA04 FA11

(54)【発明の名称】 磁気特性の均一な熱延珪素鋼板の製造方法

(57)【要約】

【課題】 コイル長手方向の磁気特性の優れた無方向性電磁鋼板を安定して製造する。

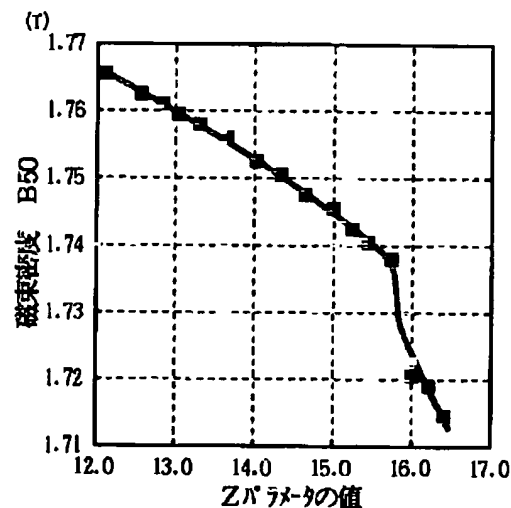
【解決手段】 重量%で、 $0.1\% \leq Si \leq 4.0\%$ と、 $0.1\% \leq Mn \leq 2.0\%$ との一方若しくは双方を含有し、残部がFeおよび不可避不純物からなるスラブに粗圧延を施してシートバーとし、次いで仕上温度が $750^{\circ}\text{C}$ 以上 $1150^{\circ}\text{C}$ 以下であり、仕上板厚が $1.5\text{mm}$ 以下であって、最終パスにおける下記式1で定義されるパラメータの最大値を $16.0$ 未満かつその変動範囲を $2.0$ 以下とした仕上熱間圧延を施して熱延板とする熱延珪素鋼板の製造方法。

【数1】

$$Z = \log \{ \dot{\epsilon} \cdot \exp[32100 / (273 + t)] \} \quad \dots \text{式1}$$

但し、 $\dot{\epsilon}$  : ひずみ速度 (1/s)

t : 圧延温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量%で、

 $0.1\% \leq Si \leq 4.0\%$ と、 $0.1\% \leq Mn \leq 2.0\%$ 

との一方若しくは双方を含有し、残部がFeおよび不可避不純物からなるスラブに粗圧延を施してシートバーとし、次いで仕上温度が750℃以上1150℃以下であ

$$Z = \log \left\{ \dot{\epsilon} \exp \left[ \frac{32100}{273 + t} \right] \right\} \quad \cdots \text{式1}$$

但し、 $\dot{\epsilon}$ ：ひずみ速度 (1/s)

t：圧延温度(℃)

【請求項2】 鋼成分として、さらに重量%で、

 $0.1\% \leq \text{sol-A1} \leq 1.5\%$ 

を含有するスラブを用いることを特徴とする請求項1記載の磁気特性の均一な熱延珪素鋼板の製造方法。

【請求項3】 仕上熱間圧延中における式1で定義されるパラメータの変動を1.5以下とすることを特徴とする請求項1又は2記載の磁気特性の均一な熱延珪素鋼板の製造方法。

【請求項4】 スラブを粗圧延して得られたシートバーを一度巻き取り、一定時間保持した後にシートバーを巻きもどした後、先行するシートバーと後行するシートバーとを接合し、複数のシートバーを一体として連続的に仕上熱間圧延に供することを特徴とする請求項1、2又は3記載の磁気特性の均一な熱延珪素鋼板の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電気機器の鉄心材料として用いられる熱延珪素鋼板の磁気特性の均一な製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、電気機器、特に無方向性電磁鋼板がその鉄心材料として使用される回転機および中、小型変圧器等の分野においては、世界的な電力、エネルギー節減、さらにはフロンガス規制等の地球環境保全の動きの中で、高効率化の動きが急速に広まりつつある。このため、無方向性電磁鋼板に対しても、その特性向上、すなわち、高磁束密度かつ低鉄損化への要請がますます強まってきている。このため無方向性電磁鋼板を製造する側としては、このような優れた特性を持つ無方向性電磁鋼板を安定して製造する使命が課せられているが、以下に述べるように現状の技術では十分に対処しているとは言えない。

【0003】無方向性電磁鋼板の長手方向の磁気特性の変動の一例であるスキッドマークを改善する手段として、特開平8-92643には、シートバーを巻き取り、一定時間保持した後に巻きほどこして圧延する技術が公開されている。この技術は確かにスキッドマークの改善に一定の効果をもたらすが、その効果は十分であるとは言えない。また、連続するシートバー毎に圧延を行っていくと、1本のシートバーの中で圧延温度、圧延速度が変

り、仕上板厚が1.5mm以下であって、最終パスにおける下記式1で定義されるパラメータの最大値を16.0未満かつその変動範囲を2.0以下とした仕上熱間圧延を施して熱延板とする熱間圧延工程を含むことを特徴とする磁気特性の均一な熱延珪素鋼板の製造方法。

【数1】

動するため、コイル長手方向の磁気変動は避けがたく、成品歩留まりの低下を招く難点があったが、制御熱延条件をどのように設定することが有効であるかが未知の課題であった。

【0004】この問題を解決するために特開平8-176664号公報では仕上圧延時の最終スタンドのロール周速が磁気特性に影響を及ぼすことを開示し、その周速の変動を一定以内に制限する技術を提案している。しかしながら、発明者等がコイル長手方向の磁気特性の変動について詳細に調査を行った結果、仕上熱延の最終スタンドの周速は冶金学的に見てもそれそのものが金属組織、析出物に影響を与えるものでなく、公開された図中の周速に対する磁束密度依存性は、ローカルな条件でしかないことがわかった。すなわち、異なる熱延機や異なる仕上げ圧延温度での無方向性電磁鋼板の磁気特性を最終スタンドの周速のみで制御することは不可能であることが分かった。

【0005】また、低コスト無方向性電磁鋼板を提供する手段として、特開平9-194939号公報には、粗熱間圧延後、シートバーを巻き取り均熱処理を施した後、板厚1mm以下のホットファイナル無方向性電磁鋼板を製造する技術が開示されている。しかしながらシートバーの巻き取りによるシートバー自身の均熱化のみで薄手熱延板を安定製造することには限界があり、薄手材を製造した場合に、仕上熱延の圧下率が增大することからシートバー噛み込み時にスタンド間で上反りが生じやすく、結果として圧延を停止せざるを得なかった。また、仕上熱延の圧下率低減のためにシートバーを薄手化すると、シートバー巻き取りを行ったとしても、シートバーの温度むらが生じるため、成品の特性がコイル採取位置に対して安定せず、限界があった。この様に、薄手ホットファイナル無方向性電磁鋼板の製造には大きな課題を残していた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】この点に鑑みて発明者等は鋭意検討を行った結果、仕上圧延時の最終スタンドの圧延条件を、特定の式で定められる条件に制御することにより、コイル長手方向の磁気特性が著しく安定することを見出し、先述の問題の解決に至った。

【0007】さらに、この技術を容易にする方策とし

て、圧延後のシートバーを巻きとって保持し、これを巻きほどこいて圧延することでシートバーの先頭と最後尾を反転させ、圧延温度を均一ならしめると共に、さらにそのシートバーを先行するシートバーに接合して複数のシートバーを連続して圧延に供することにより、式(1)で定義されるZパラメーターをさらに安定して制御し、コイル長手方向の磁気特性がより均一な熱延珪素鋼板を製造することが可能であることを見出し、発明の完成に至った。

【0008】本発明は、無方向性電磁鋼板製造法において、従来技術での限界を打破して、コイル長手方向の磁気特性の優れた無方向性電磁鋼板を安定して熱間圧延にて製造する技術を提供せんとするものである。

【0009】

$$Z = \log \{ \dot{\epsilon} \exp[32100 / (273 + t)] \} \quad \dots \text{式1}$$

但し、 $\dot{\epsilon}$  : ひずみ速度 (1/s)

t : 圧延温度 (°C)

(2) 鋼成分として、さらに重量%で、 $0.1\% \leq \text{Si} \leq 1.5\%$ を含有するスラブを用いることを特徴とする前記(1)記載の磁気特性の均一な熱延珪素鋼板の製造方法。

(3) 仕上熱間圧延中における式1で定義されるパラメーターの変動を1.5以下とすることを特徴とする前記(1)又は(2)記載の磁気特性の均一な熱延珪素鋼板の製造方法。

(4) スラブを粗圧延して得られたシートバーを一度巻き取り、一定時間保持した後にシートバーを巻きもどした後、先行するシートバーと後行するシートバーとを接合し、複数のシートバーを一体として連続的に仕上熱間圧延に供することを特徴とする前記(1)、(2)又は(3)記載の磁気特性の均一な熱延珪素鋼板の製造方法。

【0010】

【発明の実施の形態】以下に、本発明を詳細に説明する。まず、成分について説明すると、Siは鋼板の固有抵抗を増大させ渦電流損を低減させ、鉄損値を改善するために添加される。Si含有量が0.1%未満であると固有抵抗が十分に得られないので0.1%以上添加する必要がある。一方、Si含有量が4.0%を超えると熱間圧延が困難となるので4.0%以下とする必要がある。Mnは、Al、Siと同様に鋼板の固有抵抗を増大させ渦電流損を低減させる効果を有する。このため、Mn含有量は0.1%以上とする必要がある。一方、Mn含有量が2.0%を超えると熱延時の変形抵抗が増加し熱延が困難となるとともに、熱延後の結晶組織が微細化しやすくなり、製品の磁気特性が悪化するので、Mn含有量は2.0%以下とする必要がある。本発明では上記のSi、Mnのうち少なくとも1種を含有することを必須とする。

【0011】鋼中のAlは不純物レベルであってもなん

【課題を解決するための手段】本発明の要旨とするところは、以下の通りである。

(1) 重量%で、 $0.1\% \leq \text{Si} \leq 4.0\%$ と、 $0.1\% \leq \text{Mn} \leq 2.0\%$ との一方若しくは双方を含有し、残部がFeおよび不可避不純物からなるスラブに粗圧延を施してシートバーとし、次いで仕上温度が750℃以上1150℃以下であり、仕上板厚が1.5mm以下であって、最終パスにおける下記式1で定義されるパラメータの最大値を16.0未満かつその変動範囲を2.0以下とした仕上熱間圧延を施して熱延板とする熱間圧延工程を含むことを特徴とする磁気特性の均一な熱延珪素鋼板の製造方法。

【数2】

ら問題はないが、AlはSiと同様に鋼板の固有抵抗を増大させ渦電流損を低減させる効果を有するので、特に低鉄損を得たい場合には0.1%以上2.5%以下添加するのが好ましい。多量にAl添加した場合には、磁束密度が低下し、コスト高ともなるので2.5%以下とする。

【0012】また、製品の機械的特性の向上、磁気的特性、耐錆性の向上あるいはその他の目的のために、P、B、Ni、Cr、Sb、Sn、Cuの1種または2種以上を鋼中に含有させても本発明の効果は損なわれない。

【0013】C、N、S、B、Pは本発明の請求項では規定していないが、良好な磁気特性あるいは加工性を有する無方向性電磁鋼板の製造にあたってはその含有量を注意深く制御する必要があるので、以下に言及する。

【0014】Cは磁気時効を回避し鉄損の悪化を防止するため0.0050%以下であることが好ましい。一方、Si含有量が少なく硬度が低い成分系の熱延珪素鋼板の場合、C含有量を0.0250%程度にすることで、打ち抜き性の改善を図っても良い。

【0015】S、Nは熱間圧延工程におけるスラブ加熱中に一部再固溶し、熱間圧延中にMnS、AlN等の析出物を形成し、仕上げ焼鈍時に再結晶粒の成長を妨げたり製品が磁化されるときに磁壁の移動を妨げるいわゆるピニング効果を発揮し製品の低鉄損化を妨げる原因となる。従って、 $S \leq 0.0050\%$ 、 $N \leq 0.0050\%$ とすることが好ましい。

【0016】Bは熱間圧延時にBNを形成させてAlNの微細析出を妨げ、Nを無害化させるために添加される。B含有量はNとの量のバランスが必要であり、その含有量は両者の比B%/N%が0.5から1.5の範囲を満たすことが好ましい。

【0017】Pは、製品の打ち抜き性を良好ならしめるために0.1%までの範囲内において添加される。 $P \leq$

0.2%であれば、製品の磁気特性の観点から問題がない。

【0018】次に本発明のプロセス条件について説明する。前記成分からなる鋼スラブは、転炉で溶製され連続鋳造により製造される。鋼スラブは公知の方法にて加熱される。このスラブに粗圧延、仕上圧延からなる熱間圧延を施し所定の厚みとする。以下に本発明の仕上圧延条

$$Z = 10 \log \{ \dot{\epsilon} \exp[32100/(273+t)] \} \quad \dots \text{式1}$$

但し、 $\dot{\epsilon}$  : ひずみ速度 (1/s)

t : 圧延温度 (°C)

【0020】ここで、Zパラメータの値を求めるには歪み速度を求める必要がある。その方法としては諸方法があるが、本発明では下記の式2に従って歪み速度を求

$$\dot{\epsilon} = \{ V_R / (R h r)^{0.5} \} \ln \{ 1 / (1-r) \} \quad \dots \text{式2}$$

但し、 $\dot{\epsilon}$  : ひずみ速度 (1/s)、

R : 圧延ロール半径 (m)、

r : (当該パス圧下率%) / 100、 $0 < r < 1$

$V_R$  : 圧延ロール周速 (m/s)

h : 当該パスの入側板厚 (m)

【0022】表1に示した成分を含有し、残部が実質的にFeからなる鋼を、連続鋳造により220mm厚みに鋳造したスラブを、粗圧延により板厚30mmのシートバーとした。これらのシートバーを様々な条件で圧延し、1.2mmの熱延板とした。この熱延珪素鋼板からエプスタイン試料を切り出した。これらの試料の圧延条件の記録から仕上熱延最終パスのZパラメータ（前述式1で定義される）と磁気特性との関係を調べた。なお、本発

明では最終パスの圧下温度として、仕上温度を計算に用

いることにする。図1、図2に磁束密度、鉄損とZパラ

メータとの関係を示す。図1、図2に示した結果より、Zの値に依存して磁束密度、鉄損が変動することが

分かる。

【0023】

【表1】

C	Si	Mn	sol-Al	P	S	N
0.0220	0.25	0.12	0.001	0.071	0.0018	0.0019

【0024】このように本発明の熱延条件を満たす様に仕上げ熱延を実施することにより、磁気特性の均一な無方向性電磁鋼板を製造することが可能である。

【0025】ここで、仕上熱間圧延の仕上温度は、700°C未満であると熱間変形抵抗が急激に増大し圧延が困難となるので700°C以上とする。また、1150°C超であると、熱延板の剛性が不足し、コイルの巻取りが著しく不安定となるので1150°C以下とする。

【0026】また、Zの値には下限を特に設けない。Zの値は圧延温度が高くなるか、歪み速度が低くなると減少するが、圧延温度が高すぎると熱延鋼板の形状が悪化するため、自ずから限界がある。歪速度の下限も圧延速度の限界から熱延機的能力により自ずから決まるからである。現実的な圧延条件からは、Zパラメータの値の範囲は12.0以上となる。

【0027】本発明では圧延中のZパラメータの値をより均一にするため、粗圧延後のシートバーをいったん巻き取って一定時間保定し、均熱処理を施した後、これを巻きほいて先行するシートバーに接合し、複数のシートバーを連続して圧延することが極めて有効である。シートバーの巻取り保定時間は30秒以上30分以下が好ましい。30秒未満では均熱処理の効果が得られ

件を規定する理由について述べる。本発明における熱延条件と磁気特性との関係を調査するため、以下の実験を行った。本発明では仕上熱延条件を評価する指標として、下記の式1で定義されるZパラメータを用いる。

【0019】

【数3】

めるものとする。

【0021】

【数4】

明では最終パスの圧下温度として、仕上温度を計算に用いることにする。図1、図2に磁束密度、鉄損とZパラメータとの関係を示す。図1、図2に示した結果より、Zの値に依存して磁束密度、鉄損が変動することが分かる。

【0023】

【表1】

ず、30分超ではその効果が飽和し、生産性の低下を招くからである。これにより、圧延の噛み込み、および最終部の尻抜けの部分のをぞく中間のシートバーを本発明の構成要件を満たして圧延することが可能となる。

【0028】

【実施例】次に、本発明の実施例について述べる。

〔実施例1〕表2に示す成分を含み、残部Fe及び不可避不純物からなる鋼を転炉により溶製し連続鋳造設備により厚さ200mmのスラブとした。このスラブを通常の方法にて1250°Cに加熱し、粗圧延により30mmのシートバーとした。さらに6スタンドのタンデム仕上熱延機により鋼は1.0mm厚みに仕上げた。仕上圧延の際、熱延条件の指標であるZパラメータの値を、最終パスにおいて種々の値を取るように圧延速度、圧延温度、パススケジュールを調整した。

【0029】得られた熱延珪素鋼板からエプスタイン試料を切り出し磁気特性を測定した。この時の熱延条件の指標である最終パスにおけるZパラメータの値と、磁気測定結果の関係を表3に示す。表3に示した結果より、Zパラメータの変動範囲が2.0以下であると、磁束密度、鉄損とも変動を小さくすることが可能である。さらに、Zパラメータの変動範囲が1.5以下であると、磁

束密度、鉄損とも変動をより小さくすることが可能となることが分かる。この結果は、さらに、Zパラメータの値が16.0を超えると、磁気特性の低下が顕著である事も分かる。このように本発明で定めた熱延条件を満たす様に仕上げ熱延を実施することにより、長手方向の磁気特性の安定した熱延珪素鋼板を得ることが可能である。

【0030】

【表2】

C	Si	Mn	P	S	sol-Al	N
0.0018	0.51	1.00	0.050	0.0018	0.21	0.0017

【0031】

【表3】

Zの値 (6A°/目)	B50 (T)	W15/50 (W/kg)
12.11	1.762	8.20
12.55	1.758	8.27
13.04	1.753	8.33
13.56	1.748	8.40
14.16	1.744	8.44
15.12	1.740	8.46
15.62	1.736	8.49
16.01	1.711	8.81
16.53	1.632	9.93

【0032】【実施例2】表4に示す成分を含み、残部Fe及び不可避不純物からなる鋼を転炉により溶製し連続鋳造設備により厚さ200mmのスラブとした。このスラブを通常の方法にて1250℃に加熱し、粗圧延により30mmのシートバーとした。その後シートバーを先行するシートバーに接合し、連続して熱延を行った。さらに6スタンドのタンデム仕上熱延機により鋼は0.8mm厚みに仕上げた。仕上圧延の際、熱延条件の指標であるZパラメータの値を、最終パスにおいて種々の値を取る様に圧延速度、圧延温度、パススケジュールを調整した。

【0033】得られた熱延珪素鋼板からエプスタイン試料を切り出し磁気特性を測定した。この時の熱延条件の

指標である最終パスにおけるZパラメータの値と、磁気測定結果の関係を表5に示す。表5に示した結果より、Zパラメータの変動範囲が2.0以下であると、磁束密度、鉄損とも変動を小さくすることが可能である。さらに、Zパラメータの変動範囲が1.5以下であると、磁束密度、鉄損とも変動をより小さくすることが可能となることが分かる。この結果は、さらに、Zパラメータの値が16.0を超えると、磁気特性の低下が顕著である事も分かる。このように本発明で定めた熱延条件を満たす様に仕上げ熱延を実施することにより、長手方向の磁気特性の安定した熱延珪素鋼板を得ることが可能である。

【0034】

【表4】

C	Si	Mn	P	S	sol-Al	N
0.0017	2.10	0.11	0.010	0.0017	0.20	0.0015

【0035】

【表5】

Zの値 (6A°/目)	B50 (T)	W15/50 (W/kg)
12.10	1.664	4.99
12.55	1.660	5.08
13.04	1.655	5.11
13.56	1.627	5.13
14.14	1.622	5.18
15.12	1.617	5.21
15.60	1.611	5.22
16.00	1.576	5.23
16.54	1.536	5.54

【0036】

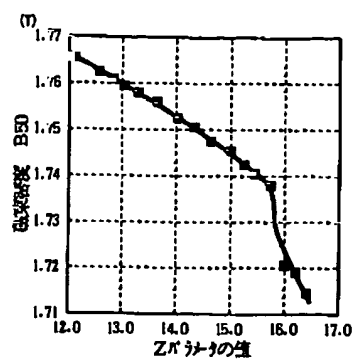
【発明の効果】このように本発明によれば、磁気特性の均一な熱延珪素鋼板を製造することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】磁束密度とZパラメータとの関係を示す図である。

【図2】鉄損とZパラメータとの関係を示す図である。

【図1】



【図2】

